

**I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE**

<b>Název práce:</b>	Výpočetní simulace fyzikálních procesů při těžké havárii na tlakovodních reaktorech s udržením taveniny v reaktorové nádobě
<b>Jméno autora:</b>	Vladyslav Filipovych
<b>Typ práce:</b>	bakalářská práce
<b>Fakulta:</b>	Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská (FJFI)
<b>Katedra:</b>	Katedra jaderných reaktorů (KJR)
<b>Oponent práce:</b>	Ing. et Ing. Tereza Abrman Marková
<b>Pracoviště oponenta práce:</b>	Státní úřad pro jadernou bezpečnost

**II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ**

<b>Zadání</b>	<b>průměrně náročné</b>
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
<p>Hlavní náplní bakalářské práce podle zadání je seznámení s tématem těžké havárie na reaktoru II a III generace se zvláštním důrazem na tlakovodní reaktory a strategii zvládnutí těžké havárie In Vessel Retention. Z obsahu zadání je zřejmé, že se má jednat zejména o rešeršní činnost se zvláštním důrazem na pochopení problematiky a jejích souvislostí s tématy základních přístupů k zajištění jaderné bezpečnosti a s praktickým přesahem do hodnocení jaderné bezpečnosti jednoho z modelů reaktorů, které jsou kandidáty na výstavbu nového jaderného zdroje v lokalitě Dukovany. Zadání je dostatečně podrobné a svojí náplní a strukturou velice dobře odpovídá očekávanému zadání bakalářské práce. Zadání respektuje skutečnost, že student 3. ročníku má obvykle jen obecné znalosti v oboru a potřebuje zahájit jakoukoli výzkumnou činnost robustní rešerší. Zadání dále respektuje poměrně krátký čas, který má student na přípravu bakalářské práce.</p>	

<b>Splnění zadání</b>	<b>splněno</b>
<i>Posudte, zda předložená závěrečná práce splňuje zadání. V komentáři případně uveďte body zadání, které nebyly zcela splněny, nebo zda je práce oproti zadání rozšířena. Nebylo-li zadání zcela splněno, pokuste se posoudit závažnost, dopady a případně i příčiny jednotlivých nedostatků.</i>	
<p>Předložená bakalářská práce je strukturovaná do kapitol podle jednotlivých bodů zadání. Texty jednotlivých kapitol jasně směřují ke splnění zadání v jednotlivých bodech, jsou dostatečně podrobné a přehledné. V teoretické části práce (kapitoly 1 – 4) je patrná pečlivost autora při tvorbě a zvláštní důraz na splnění zadání. V praktické části práce (kapitola 5) je objevuje menší nedostatek daný zřejmě poměrně velkou náročností pochopení modelované problematiky a interpretace výsledků v krátkém časovém rámci tvorby bakalářské práce - chybějící detailní zhodnocení vlivu neurčitosti studovaných vstupních parametrů na výsledek výpočtu. Tento nedostatek ale nemá podle autorky posudku zásadní vliv na splnění celkového zadání práce.</p>	

<b>Zvolený postup řešení</b>	<b>vhodný</b>
<i>Posudte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.</i>	
<p>V teoretické části práce (kapitoly 1 – 4) byla provedena rešerše širšího počtu zdrojů vedoucí k pochopení studované problematiky, jak je patrné z textu BP. V praktické části práce (kapitola 5) byl zvolen postup v souladu se zadáním, které je v této oblasti přiměřeně detailní. Autor prostudoval základní prvky výpočetního programu ASTEC včetně programovacích jazyků Python a prostředí Analyser, metodiku výpočtu Risk-Oriented Accident Analysis Methodology, základy metodiky modelování jaderného zařízení v integrálním výpočetním programu a zvolený zjednodušený model AP 1000, který je součástí instalačního balíčku výpočetního programu ASTEC. S tímto modelem provedl výpočty porovnávající tři zvolené příklady. Tento postup řešení považuje autorka posudku za zcela vhodný k dosažení cílů práce.</p>	

<b>Odborná úroveň</b>	<b>výborná</b>
-----------------------	----------------

*Posudte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.*

Odborná úroveň textu je většinou velice dobrá, přiměřená úrovni bakalářské práce nebo vyšší. Autor až na několik méně významných výjimek projevuje pochopení studované problematiky a schopnost samostatně reprodukovat získané znalosti.

V některých případech, zejména v kapitole 1, se ale dopouští nepřesností a chybných interpretací, které způsobují, že odborná úroveň textu se jeví jako nevyvážená. Jedná se zejména o následující příklady:

V kapitole 1

- Autor uvádí zmatečným způsobem řazení reaktorů do generací. Chybně uvádí, že (citují): „Nejpočetnější generací (Gen. II) reaktorů jsou první varianty komerčních jaderných elektráren.“ Nezavádí skupinu Gen III+, ale dále v textu s ní pracuje. Chybně uvádí, že LWR se dělí na PWR, BWR, CANDU, RBMK a další.
- Dále autor chybně uvádí definici těžké havárie zavedenou SUJB včetně chybného zdroje a nepřesně interpretuje historické souvislosti i účel vydání Atomového zákona 263/2016 Sb. Dále pak chybně interpretuje text Atomového zákona tak, že umožňuje klást diametrálně odlišné požadavky na bezpečnost cíle projektu stávajícího jaderného zařízení a nového jaderného zařízení. Chybně uvádí, že (citují): „Cílem nové legislativy je zajistit, že návrh nového JZ bude předpokládat, že většina havarijních událostí bude prakticky vyloučena.“ Z čehož lze dovodit, že si autor není jist významem pojmu praktického vyloučení.
- Mezi typy havárií ve výčtu v kapitole 1 chybí havárie způsobené neplánovaným stratem systémů.
- Z textu kapitoly 1 plyne, že autor práce nerozumí zcela správně termínu SBO a v některých případech ho zaměňuje za ztrátu pracovních a rezervních zdrojů (normálního) vnějšího napájení elektrárny (tedy událost, kdy jsou dostupné bezpečnostní systémy havarijního napájení, jako v případě JE Zápороžská).
- Dále autor chybně uvádí, že události typu RIA jsou prakticky vyloučené.

V kapitole 2 a 3

- Autor práce v některých případech využívá termín bezpečnostní systém v širším významu zahrnujícím i systémy pro zvládnutí rozšířených projektových podmínek, které nejsou bezpečnostními.

V kapitole 5

- U jednotlivých variant výpočtů jsou prezentovány a graficky znázorněny odlišné veličiny. (simulace 1: maximální tepelný tok, simulace 2: časová změny tloušťky TNR, simulace 3 teplota dna TNR). Bylo by vhodné prezentovat pro všechny varianty stejné výsledky. V kapitole 5 také zcela chybí grafické porovnání výsledků jednotlivých variant výpočtů (simulace 1 se 63% ZrO<sub>2</sub> v tavenině a část kovových materiálů relokovaná v etapě 1, simulace 2 se 63% ZrO<sub>2</sub> v tavenině a v podstatě všechny kovové materiály relokované v etapě 2, simulace 3 se 40% ZrO<sub>2</sub> v tavenině a část kovových materiálů relokovaná v etapě 1) a detailní zhodnocení vlivu neurčitosti studovaných vstupních parametrů na výsledek výpočtu.

Závěr práce postrádá ohodnocení přínosu práce respektive přesahu do praxe nebo dalšího výzkumu.

Výše komentované nedostatky nicméně celkovou úroveň bakalářské práce významně nesnižují, jedná se o příklady, kde by se autor mohl v příští práci ještě zlepšit.

#### **Formální a jazyková úroveň**

#### **průměrná**

*Posudte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posudte typografickou a jazykovou stránku.*

Bakalářská práce obsahuje formální nedostatky snižující její velmi dobrou odbornou úroveň.

- Obrázky a grafy jsou příliš malé. Obvykle se doporučuje, aby obrázky nebo grafy zabíraly alespoň 1/2 stránky. V několika případech (Obr. 1, 2, 3, 8, 12, 13, 14, 15, 16) jsou popisy v obrázcích na hranici čitelnosti.
- Uspořádání začátku kapitoly 4 (před 4.1) je poněkud zmatečné.
- Tabulky 5, 6, a 7 sloužící ke vzájemnému porovnání nejsou ve stejných fyzikálních jednotkách. Tabulka 7 se navíc odlišuje množstvím obsažených informací i jejich uspořádáním.
- Graf Obr. 20 uvádí v legendě také datové řady, které v grafu nejsou.
- Graf Obr. 21 je vzhledem ke svojí velikosti prakticky nečitelný.

- Z hlediska přehlednosti práce by bylo vhodnější začínat každou kapitolu na nové stránce.

Jazyková úroveň práce je nevyvážená. Většina textu je jazykově a stylisticky na odpovídající očekávané úrovni bakalářské práce při uvážení skutečnosti, že jazyk práce není mateřským jazykem autora. V některých částech textu je patrná vysoká pečlivost kontroly. Bohužel se opakovaně vyskytuje problém s překlady za anglického jazyka (a v jednom případě z ukrajinského jazyka), kdy text už není téměř srozumitelný nebo je špatně přeložen odborný termín (např. „patentovaná slitina“, „studený odstavený stav“, „začátek exponenciální/urychlené oxidace“, „dolní směšovací komora“).

#### Výběr zdrojů, korektnost citací

#### průměrné

*Vyjádřete se k aktivitě studenta při získávání a využívání studijních materiálů k řešení závěrečné práce. Charakterizujte výběr pramenů. Posuďte, zda student využil všechny relevantní zdroje. Ověřte, zda jsou všechny převzaté prvky řádně odlišeny od vlastních výsledků a úvah, zda nedošlo k porušení citační etiky a zda jsou bibliografické citace úplné a v souladu s citačními zvyklostmi a normami.*

Výběr zdrojů je přijatelně široký a reprezentativní.

Text bakalářské práce v některých částech ale téměř nebo zcela postrádá citace. To se týká zejména kapitoly 2 (úvodní část, 2.1 a první cca polovina 2.2), kapitoly 4 (úvodní část), kapitoly 5 (úvodní část, 5.1 a 5.2 obsahují dohromady 2 citace a přitom autor bakalářské práce přejímá i výpočetní model použitý v této práci).

V referencích je chyba u [10] – nejedná se o zákon ale o vyhlášku.

Reference [20] je v textu interpretována nesrozumitelným způsobem.

V textu je uvedeno, že je použita [24] WENRA; Safety reference level for existing reactors, 2020, text kapitoly 1.6 ale z tohoto zdroje zjevně nevychází.

#### Další komentáře a hodnocení

*Vyjádřete se k úrovni dosažených hlavních výsledků závěrečné práce, např. k úrovni teoretických výsledků, nebo k úrovni a funkčnosti technického nebo programového vytvořeného řešení, publikačním výstupům, experimentální zručnosti apod.*

Dosažené výsledky práce odpovídají úrovni bakalářské práce.

Autor práce zjevně prostudoval velké množství zdrojů a většinu svých poznatků dokáže srozumitelným způsobem interpretovat. Zvláště musím vyzdvihnout stručnost a dobrou srozumitelnost kapitoly 2, která mapuje rozsáhlou problematiku a dobře si vybírá nejvýznamnější části k prezentaci.

V kapitole 5 autor práce prezentuje 3 varianty výpočtů, které si zvolil pro demonstraci vlivu některých vstupních parametrů na úspěšnost strategie IVR. Výběr hodnocených variant lze také ocenit. Ačkoli je vyhodnocení výsledků výpočtů v této bakalářské práci velmi stručné, je z něj patrné, že se autor práce v problematice přijatelně zorientoval, což je nutné na úrovni bakaláře ocenit.

Pokud by se autor práce rozhodl ve studiu vlivu vstupních parametrů na výsledky analýzy IVR pokračovat, například tvorbou vlastního zjednodušeného modelu některého reaktoru II. nebo III. generace, jistě by dokázal najít vhodné zadání pro diplomovou práci.

### III. CELKOVÉ HODNOCENÍ, OTÁZKY K OBHAJOBĚ, NÁVRH KLASIFIKACE

*Shrňte aspekty závěrečné práce, které nejvíce ovlivnily Vaše celkové hodnocení. Uveďte případné otázky, které by měl student zodpovědět při obhajobě závěrečné práce před komisí.*

Nejdůležitějšími silnými stránkami práce jsou:

- Pečlivé splnění zadání s jedinou drobnou výjimkou v závěrečné interpretaci výsledků.
- Dobré zmapování fyzikální a inženýrské podstaty tématu zvládnutí těžké havárie použitím strategie IVR. Jedná se o rozsáhlé a komplikované téma, které autor přehledně a přiměřeně obsáhle zpracoval.
- Autor prokázal základní zorientování v práci s komplexním integrálním výpočetním programem ASTEC, které prokázal provedením vlastních výpočtů na defaultním modelu.
- Autor dokázal prezentovat výsledky svých výpočtů včetně základního slovního porovnání některých veličin.

Slabými stránkami práce jsou:

Nedostatečné citace v textu kapitol 2, 4 a zejména 5.

Chybějící grafická prezentace stejných veličin a výsledků u všech variant výpočtů. Chybějící grafické porovnání výsledků jednotlivých variant výpočtů.

Nepřesné interpretace některých diskutovaných témat v kapitole 1.

Obtížně čitelné obrázky a grafy.

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm **B - velmi dobře**.

Datum: 28.8.2023

Podpis:

